

CONTART 2018: VII Convención de la Edificación
30 mayo - 1 junio 2018; Zaragoza (Spain): Colegio Oficial de
Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Zaragoza. Escuela
Universitaria Politécnica de La Almunia, p.51-60

005

APLICACIÓN DEL 8D Y DE LOS PRINCIPIOS LEAN PARA LA MEJORA DE LA SEGURIDAD Y PREVENCIÓN DE OBRAS DE EDIFICACIÓN

LATORRE, ASIER¹; SÁNCHEZ, BRUNO²; SANZ, CRISTINA³; VIDAURRE, MARINA⁴

¹ INNYCO BIM Project-Universidad de Navarra/Ingeniero de Edificación BIM,
Pamplona, España

E-mail: alatorre@alumni.unav.es,

Web: <https://www.linkedin.com/in/asier-latorre-uriz-97344b47/>

² Universidad de Navarra/Departamento de Construcción,
Instalaciones y Estructuras, Pamplona, España

E-mail: bsanchezs@unav.es,

Web: <https://www.linkedin.com/in/bruno-s%C3%A1nchez-saiz-ezquerria-33565122/>

³ Universidad de Navarra/Departamento de Construcción,
Instalaciones y Estructuras, Pamplona, España

E-mail: csanz@unav.es, Web: [http://www.unav.edu/web/escuela-tecnica-superior-de-arquitectura/
laboratorio-arquitectura/quienes-somos](http://www.unav.edu/web/escuela-tecnica-superior-de-arquitectura/laboratorio-arquitectura/quienes-somos)

⁴ Universidad de Navarra/Departamento de Construcción,
Instalaciones y Estructuras, Pamplona, España

E-mail: mvidaurre@unav.es, Web: <http://orcid.org/0000-0002-9041-9782>

PALABRAS CLAVE: BIM, Lean, Seguridad y Salud en Obras de Construcción, Edificación.

RESUMEN

OBJETIVO

El objetivo del artículo es identificar mejoras en la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) en las Obras de Edificación a través de la aplicación de los conceptos de la filosofía Lean y la metodología BIM.

METODOLOGÍA

1º.- Revisión bibliográfica sobre la aplicación de BIM y de conceptos Lean a la Seguridad y Prevención.

2º.- Análisis de los vínculos y potencialidades de la aplicación conjunta de BIM y Lean para mejorar la Seguridad y Prevención en edificación.

3º.- Propuesta de mejoras y utilización de las principales técnicas, en base a los conocimientos y experiencia de los autores.

RESULTADOS

La aplicación de BIM en las fases de diseño, aprovechando la visualización (3D) y la simulación del proceso constructivo (4D) permite alcanzar un gran conocimiento del proyecto y controlar los riesgos del mismo, adaptando los sistemas de protección colectivos e individuales a las necesidades analizadas, disminuyendo la posibilidad de que ocurran en obra.

Posteriormente, en la fase de ejecución, la aplicación de conceptos como las 5" S, potenciar la visualización, la realización de una planificación más estable y real a través del uso de Last Planner System (LPS) y la búsqueda de la mejora continua (Kaizen) conlleva un aumento de la calidad en que se aplica la SST en las obras de edificación.

CONCLUSIONES

El uso de BIM y Lean de manera conjunta no solo produce un aumento en la productividad de los proyectos de construcción, sino que supone una mejora en la calidad de las medidas preventivas adoptables en la fase de obra. El empleo del 3D o 4D queda estrechamente relacionado con técnicas y principios Lean como, por ejemplo, potenciar la visualización o LPS. Todo ello repercute en un aumento de la calidad de la SST, controlando mejor los riesgos y generando un mejor lugar de trabajo para los trabajadores.

1. INTRODUCCIÓN

La siniestralidad laboral en el sector de la construcción ha aumentado por tercer año consecutivo. Mientras que la media de accidentes en total aumentó un 3,4%, en la construcción aumentaron un 6,2%, siendo el sector con mayor índice de incidencia (7.217,2 accidentes por cada 100.000 trabajadores) [1]. La mortalidad por accidente de trabajo disminuye de manera global en el sector, pero aumenta en la construcción de edificios. El avance de la estadística de accidentes de Enero-Noviembre 2017 [2] confirma esta tendencia al alza, habiéndose producido un aumento del 14,7% de los accidentes en dicho periodo respecto al año anterior. Además, sindicatos como CC.OO [3], [4] denuncian que este aumento de la siniestralidad, defendido por algunos por el aumento de la actividad económica del sector, es debido en gran parte a los recortes y falta de inversión en las políticas preventivas. Todos estos datos muestran la necesidad de un cambio en la manera de gestionar la seguridad y prevención en la edificación, de manera que se puedan conocer mejor los procesos constructivos y los riesgos que conllevan.

En una encuesta realizada a 542 profesionales del sector de la construcción en 2016 [5], el 65,92 % de los encuestados afirman que la empresa para la que trabajan tienen implementado un SGSST, y el 61,84 % afirman que el nivel de subcontratación es superior al 70 %. Los resultados también evidenciaron que los profesionales posiciona en segundo lugar (de

11 posibles) el objetivo de terminar la obra conforme a la normativa de aplicación en materia de seguridad y salud, y con cero accidentes, con un Índice de Importancia Relativa (IIR) igual a 0,95 (muy alto), lo que evidencia la preocupación y concienciación de los profesionales al respecto. Igualmente consideran a la SST una disciplina de gran importancia en la gestión de un proyecto, con un IIR = 0.93.

Los hallazgos anteriores se deben a los años en que las empresas del sector llevan implementando los SGSST, que han permitido sedimentar y dar cultura de la importancia de su aplicación real. Por ello, parece el momento idóneo de ir un paso más allá en que el 8D con enfoque Lean se incorpore con la misma rigurosidad e impregne dichos sistemas de gestión.

A medida que BIM va afirmándose como buenas prácticas en el sector, la SST irá disfrutando también de sus potenciales mejoras desde la fase de redacción del proyecto hasta la culminación de la ejecución de la obra. No obstante a lo anterior, Sánchez [5] revela que las competencias que los profesionales actuales tienen en relación a procesos y herramientas informáticas BIM en el proceso Proyecto-Construcción es aún muy poco maduro en nuestro país.

La aplicación de la metodología BIM y la filosofía Lean resultan claves en este contexto. La mejor y más fácil visualización del proyecto/modelo y la posibilidad de realizar simulaciones del proceso constructivo hace que BIM proporcionan un gran conocimiento del proyecto, lo cual permite prevenir y controlar mejor los riesgos laborales; mientras que el uso de técnicas Lean como las 5"S" o Kaizen conllevan un aumento en la calidad de gestión de la SST en la fase de obra.

El uso de BIM en España está cada vez más extendido. La labor de difusión de plataformas como la buildingSMART o la comisión esBIM facilitan este trabajo. Está previsto que el uso de BIM en proyectos públicos de edificación sea obligatorio para el 17 de diciembre de 2018 [6]. Y el conocimiento de la filosofía Lean lleva años difundándose en España a través de la Fundación Laboral de la Construcción. Estamos, por tanto, en el momento de realizar un cambio de paradigma bajo el enfoque Lean, que conlleve un aumento en la mejora de la SST en la construcción y que acabe con la tendencia al alza del número de accidentes en el sector.

2. METODOLOGÍA

El objetivo principal del presente artículo es identificar mejoras en la SST en las obras de edificación a través de la aplicación de los conceptos de la filosofía Lean y la metodología BIM. Para ello se establecen los siguientes objetivos parciales: (1) Analizar qué aporta BIM a la seguridad, (2) Identificar las mejoras que conlleva Lean, y (3) Desarrollar el uso conjunto de ambas metodologías para la mejora de la Seguridad.

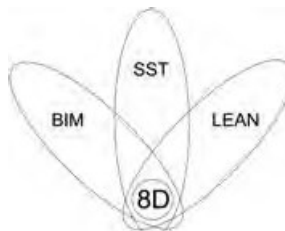


Figura 1: Integración de SST, BIM y LEAN. Elaboración propia.

La metodología investigadora (Figura 1) ha consistido en una revisión bibliográfica basada en tres fuentes principalmente; BIM, LEAN Construction y SST. La discusión aporta información y juicios de valor de los autores fruto de su experiencia que argumenta el problema planteado y las conclusiones ofrece un flujo de proceso conceptual que pretende alentar la implementación conjunta de herramientas de gestión provenientes de dichas disciplinas e integradas en un mismo proceso.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Aplicación de BIM a la Seguridad y Prevención en Edificación

BIM posibilita compartir datos e información entre todos los agentes del proceso edificatorio y cualquier participante a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio. Aporta una plataforma de datos coherente, estructurados e idóneos, que permiten un proceso inteligente de toma de decisiones en base a información confiable en todas las fases del proceso Proyecto-Construcción [5][7][8]. El uso de BIM se está extendiendo cada vez más en la construcción en España, principalmente con sus aplicaciones más conocidas: favoreciendo una mayor visualización (3D) y realizando una gestión tanto del plazo (4D) como del presupuesto (5D).

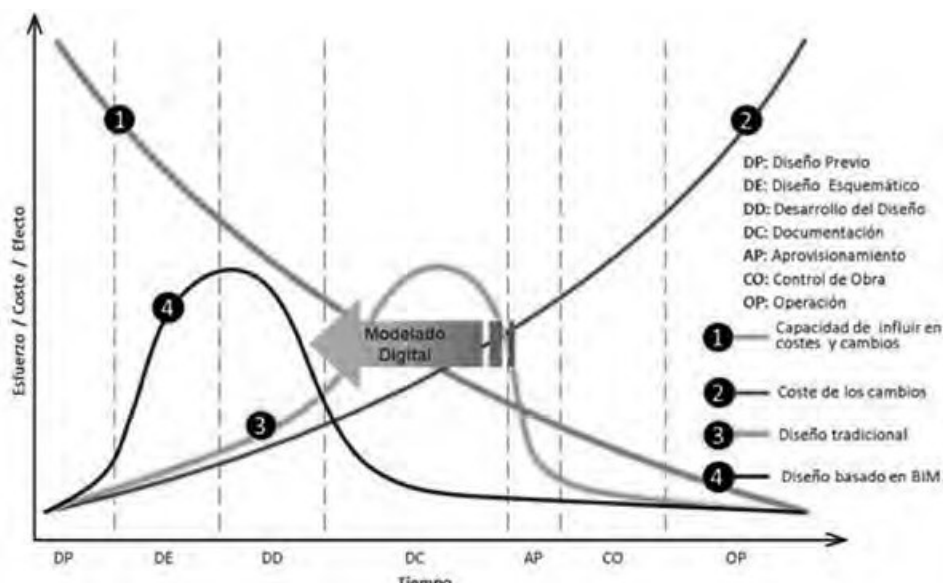


Figura 2: Curva de esfuerzo en el proceso constructivo- Curva MacLeamy [9]

La Figura 2, conceptualiza las ventajas de la utilización del modelado digital en el proceso constructivo. Los programas existentes desarrollan cada vez mejor las conexiones vía IFC para comunicarse con los programas de modelado, o bien se integran dentro de ellos, como el caso de Presto-Cost it y Revit. También se analiza el uso del modelo para otras funciones como el análisis energético (6D) o la gestión del activo inmobiliario (7D) [10]. Sin embargo, el análisis de BIM para la SST en obras de edificación es un tema que, hasta

el momento, ha suscitado menos interés que el resto y apenas se ha desarrollado [11]. En España destaca la labor de difusión del blog desarrollado por la Fundación Laboral de la Construcción [12], en la que se analizan las ventajas del uso de BIM para la SST en los proyectos de Edificación.

Tal y como se ha analizado, la construcción es un sector que tiene una altísima siniestralidad laboral. Entre un 42% y un 71% de los accidentes ocurridos en obra pueden evitarse en la fase de diseño del proyecto [11], [13]. Además, Sánchez [5] identifica que el mayor problema en la gestión de la SST en obra es el escaso control y aseguramiento de la seguridad por parte de la D.F. El uso de BIM optimiza el diseño [14], gracias a la visualización que ofrece y a la posibilidad de entender mejor el proceso constructivo. Uno de los problemas que destacan diversos autores [11][14][15] es la falta de conexión entre la gestión de la SST y el proyecto, quedando en un anexo más del mismo, sin darle la importancia que tiene. A través del uso de BIM, se hace a todos los agentes partícipes, permitiendo una mayor colaboración en las decisiones que afectan a la SST, integrándola dentro del proyecto.

La información que se plasma en los planos de SST, en 2D, es a menudo compleja, lo que dificulta su comprensión [16]. El uso de vistas auxiliares 3D permite comprender la solución adoptada de mejor manera [17]. Una vez modelado, se realizan análisis en programas específicos como Solibri o Navisworks, que comprueban de manera automática el cumplimiento de los elementos de seguridad, gracias a la formulación de reglas en dichos programas [16]. Esto genera un aumento de la calidad del proyecto y la optimización del proceso, ya que se realiza de manera automática [14]. Aun generándose la comprobación de forma automática, sigue siendo necesario que un técnico revise los resultados obtenidos, para comprobar que todo es correcto [17].

Para obtener buenos resultados en la gestión de la SST, es necesario conocer el proceso constructivo y sus riesgos laborales para adoptar las medidas preventivas necesarias y así poder eliminar los riesgos de que ocurran accidentes en la ejecución del proyecto. El uso del 4D (simulación del proceso constructivo/planificación) permite realizar simulaciones que elevan el nivel de conocimiento del proyecto [18] y, por tanto, la comprensión de los riesgos laborales inherentes a la ejecución de la labor constructiva. Se debe considerar la SST como una parte más de la planificación BIM, ya que es un proceso fundamental de ésta. Así, vinculando las actividades con la SST, se podrán tomar mejores decisiones respecto a las medidas preventivas del proyecto.

Por tanto, vinculando las dimensiones 3D (visualización), 4D (simulación del proceso constructivo/planificación) y la 8D (SST) se puede optimizar el proceso de diseño, mejorando de ésta manera la Seguridad del proyecto en la fase de ejecución al conocer mejor las características del mismo. Permitirá generar Estudios y Planes de SST mucho más precisos, acertados y optimizados.

3.2 Aplicación de Lean Construction a la Seguridad y Prevención en Edificación

El Lean Construction consiste en la aplicación de los principios, técnicas y valores de la filosofía Lean al sector de la construcción. Permite gestionar un proyecto de edificación con el fin de aportar un valor añadido al cliente, que define qué es para él el valor. Busca eliminar todo aquello que no genera valor y provoca pérdidas, optimizando en todo momento el proceso y aplicando una mejora continua al mismo, logrando así alcanzar la plena satisfacción del cliente [19].

Los accidentes ocurridos durante la ejecución de los proyectos no generan un valor añadido al proceso, si no que suponen un coste mayor. Lean busca eliminar todas las actividades que no generan valor, por lo que la mejora de la SST en la ejecución de los proyectos forma parte de la mejora del proceso que busca Lean [20]. Para eliminar los desperdicios generados por la falta de seguridad, Lean busca [21]: mejorar los procedimientos de seguridad que fallan y provocan accidentes, identificar las medidas preventivas que resultan excesivas y suponen malgastar recursos que se podrían destinar a otra actividad y evitar las medidas preventivas que supongan una restricción a la productividad de la ejecución, sin perjudicar la seguridad. Por tanto, la mejora de la gestión de la SST y de los lugares de trabajo seguros se convierten en elementos clave dentro de la mejora de la productividad que debe afrontar la construcción [21][22].

Existen diversas técnicas lean, que se pueden clasificar en función de sus objetivos [23]:

- Alcanzar objetivos (Lean approach process, Hoshin Kanri).
- Control del flujo (Last Planner).
- Variabilidad/Optimización del proceso (Kanban, Jidoka, Value Stream Mapping).
- Transparencia (5S y aumento de la visualización).
- Mejora continua (Kaizen, reuniones de grupo).

De las técnicas citadas, se analizan brevemente las que tienen una mayor relación con la mejora de la SST.

La 5^ªS^ª consiste en la aplicación de 5 conceptos, que comienzan por S en japonés (organizar, ordenar, limpiar, controlar visualmente y disciplina) para la organización del lugar de trabajo, manteniéndolo limpio y organizado. De esta manera, se genera menos material y desperdicio en la zona de trabajo, y más espacio ordenado [24], con un aumento de la seguridad en la ejecución de los trabajos. Se crea un ambiente de trabajo del cual las personas están orgullosas, y ello puede conllevar un aumento de la calidad de sus trabajos [22].

La mejora de la visualización es una forma de transmitir la información del proyecto entre varias partes. Una de las principales causas de accidentes es un sitio inseguro por una supervisión insuficiente y con una visualización deficiente [25]. Con el aumento de la visualización también mejora la comunicación a través de signos y etiquetas alrededor del puesto de trabajo, de manera que el trabajador puede recordar elementos como flujo de trabajo, objetivos de rendimiento, etc., incluyendo aspectos relacionados con la SST [22].

La gestión visual puede ampliarse a la seguridad mediante señales y tableros que muestren las tasas de accidentes en la obra, permitiendo la participación de todos los trabajadores en la identificación y solución de los problemas [22].

El Last Planner es una técnica cuyo objetivo es lograr un flujo de trabajo continuo y un aumento de la productividad [19]. Posee dos aspectos claves: el control de la producción unitaria y del flujo de trabajo, generando así una mejora del proceso constructivo. Se estructura en tres niveles (programación a largo plazo, a medio plazo y a corto plazo) y hace partícipes de la planificación a todos los agentes involucrados en su ejecución [19]. Vinculando el análisis de la SST en obra al Last Planner, se logran las siguientes mejoras [20]:

- Comprobar la disponibilidad de los elementos de seguridad en obra.
- Identificar los riesgos durante la planificación de la ejecución de los trabajos.
- Analizar el funcionamiento de la seguridad en el proyecto.

- Hacer partícipes a los trabajadores, involucrándolos en la seguridad.

Conceptos claves del Last Planner como el análisis de restricciones, la protección del flujo de trabajo o el análisis de los fallos de planificación pueden ser extendidos a la gestión de la SST [26].

3.3 Aplicación de BIM y Lean Construction a la Seguridad y Prevención en Edificación

Los métodos de trabajo en el sector están cambiando hacia técnicas más colaborativas [5]. Una vez se han analizado las diferentes aplicaciones tanto de BIM como de Lean Construction, se propone un flujo de trabajo de ambas metodologías que refuerce y mejore la Seguridad y Prevención. La presión actual de las empresas por mejorar su productividad, en busca de mejores resultados, está conllevando malas prácticas y un declive de la búsqueda de la seguridad de los trabajadores [27] et al, 2002, hecho que refleja el aumento de los accidentes en los últimos años. Tanto BIM como Lean buscan un aumento de la productividad a través de una mejora global de los procesos, buscando siempre una mejora continua. La confianza, el liderazgo, la comunicación efectiva y la colaboración entre las distintas personas, equipos y especialistas, son el factor clave de la metodología BIM, además de demostrar habilidad en el manejo de herramientas informáticas específicas de integración de la información BIM [5]. Además, Lean pone en el centro de esta mejora a las personas, ya que son el motor fundamental del cambio. Por ello, este cambio en los procesos y forma de trabajar, además de una búsqueda de mejora de la productividad, va tras la mejora de la seguridad y prevención de los trabajadores a pie de obra.

La Figura 3 refleja la propuesta de flujo de trabajo para la aplicación de BIM y Lean en la gestión de la SST. Se supone un contexto en el cual el sistema de contratación sea el sistema tradicional (Proyecto-Adjudicación-Ejecución), al ser el más extendido a día de hoy en nuestro país.

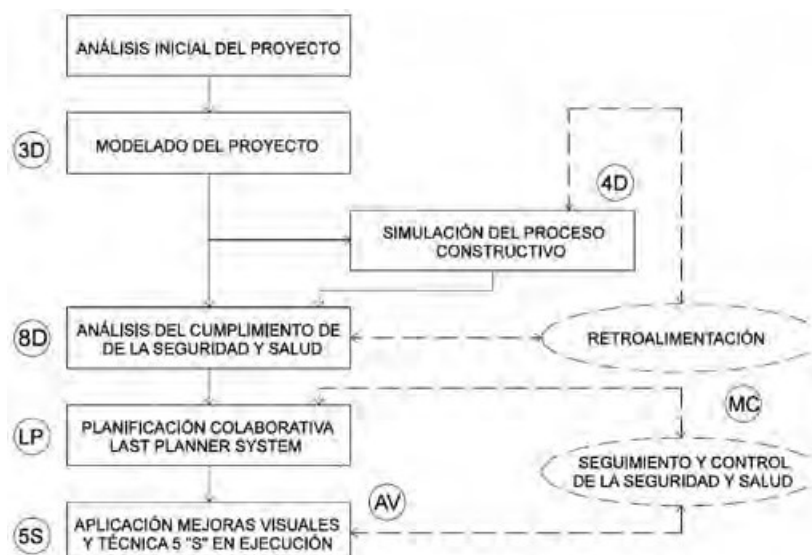


Figura 3: Flujo del proceso híbrido SST, BIM y LEAN. Elaboración propia.

Una vez se recibe el encargo, se realiza un análisis inicial del mismo para comprender sus características y necesidades. Conforme se tiene claro el diseño, se modela el edificio en un programa específico de modelado. Después de levantar el modelo, se realiza un análisis de las medidas preventivas necesarias para la ejecución de los trabajos, ayudándose de la visualización (3D) del modelo, de la comprobación automática mediante reglas en programas de revisión tipo Solibri, y de las simulaciones del proceso constructivo (4D) que se pueden realizar. Estas simulaciones pueden realizarse predeterminadas, o surgir tras analizar visualmente el modelo y no entender del todo bien el proceso constructivo, de manera que visualizar la secuencia lógica constructiva pueda ayudar a entender mejor el proceso y, por ende, las medidas preventivas a adoptar.

Una vez se tiene aprobado el proyecto y se procede a su ejecución, se adopta la técnica de Last Planner para realizar la planificación. Pero, además de realizar las labores de control inherentes a la técnica, se aplica un seguimiento y control de la seguridad, de forma que se realice un control de las necesidades, restricciones y estado de los trabajos tanto de ejecución del proyecto como de las medidas preventivas. Además, el uso del modelo BIM en estas reuniones es recomendable, ya que favorece una mejor comprensión del proceso constructivo. En la ejecución de los trabajos, se tendrán en cuenta técnicas como las 5" S", así como un apoyo de señales que aumenten la visualización de los riesgos, y la colocación de un panel a la entrada de la obra donde figuren las estadísticas principales del seguimiento del LPS. En un contexto donde el nivel de subcontratación supera el 70% en el 61,84% de las empresas en las que trabajan los 542 encuestados [5], puede considerarse muy interesante la aplicación de LPS como manera de gestionar y mejorar la comunicación entre subcontratistas e industriales, permitiendo un seguimiento continuo de la SST durante todo el proyecto, de manera que se monitorice y busque una mejora continua (MC) del proceso.

4. CONCLUSIONES

Los datos sobre índice de incidencia de accidentes laborales en los últimos años muestran la necesidad de un cambio en la manera en la que se afronta la SST en la construcción. Ésta se suma a la mejora de la productividad que debe afrontar el sector, y la búsqueda de ambos objetivos van encaminados hacia el uso de la metodología BIM bajo un enfoque de la filosofía Lean.

Durante el desarrollo del artículo, se han mostrado las potenciales mejoras que conlleva el uso de BIM y Lean Construction para la seguridad. Se ha desarrollado una propuesta (Figura 3). de un flujo de trabajo que combina ambos conceptos y que busca una mejora del análisis de las medidas preventivas necesarias en la ejecución de los trabajos, y que repercute en una mejora de la SST. Este flujo se ha desarrollado para el sistema tradicional (Proyecto-Adjudicación-Ejecución), pero se podría optimizar más si el proyecto se desarrolla bajo un sistema IPD (*Integrated Project Delivery*), donde todos los agentes intervinientes en el proceso comienzan a trabajar antes en el proyecto.

El uso de BIM y Lean de manera conjunta no solo produce un aumento en la productividad de los proyectos de construcción, sino que supone una mejora en la gestión de la SST. El empleo del 3D o 4D queda estrechamente relacionado con técnicas y principios Lean como potenciar la visualización o LPS. Todo ello repercute en un aumento de la calidad de la gestión de la SST, controlando mejor los riesgos laborales y generando un lugar de trabajo más seguro para los operarios y técnicos.

5. RECONOCIMIENTOS

Agradecer el apoyo facilitado por el Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Navarra, gracias al cual esta investigación ha sido llevada a cabo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M^a Victoria de la Orden Rivera, “Informe anual de accidentes de trabajo en España 2016,” Madrid, 2017.
- [2] “Estadística de Accidentes de Trabajo: Datos avance Enero-Noviembre 2017,” Madrid, 2017.
- [3] Navarra.com, “CCOO alerta de que en Navarra sigue creciendo la siniestralidad laboral,” 2018. [Online]. Available: http://www.navarra.ccoo.es/noticia:267918--CCOO_alerta_de_que_en_Navarra_sigue_creciendo_la_siniestralidad_laboral.
- [4] Prevencionar.com, “El sector agrario y la construcción son deficientes en el uso de equipos de seguridad,” 2017.
- [5] B. Sánchez, “Gestión de obras de edificación: un modelo para la integración de la gestión de proyecto mediante un enfoque de sistemas,” Universidad de Navarra, 2017.
- [6] Comisión para la implantación de la metodología BIM, “Hoja de ruta BIM España.” Comisión para la implantación de la metodología BIM, Madrid, 2015.
- [7] B. Sánchez, C. Sanz, and A. Latorre, *Dirección y gestión de proyectos de edificación: terminología internacional y su correspondencia con la normativa y legislación española*. 2017.
- [8] CIOB, *Code of practice for project management for construction and development*, 5th Ed. Chichester (UK): John Wiley & Sons., 2014.
- [9] R. J. González Marquez, F. Choclán Gámez, and M. Soler Severino, “Introducción a la metodología BIM,” 2014. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/284159764_INTRODUCCION_A_LA_METODOLOGIA_BIM.
- [10] A. Latorre, C. Sanz, B. Sánchez, and M. Vidaurre, “EQUIPARACIÓN DE LOD PARA SU APLICACIÓN EN EDIFICACIÓN EN ESPAÑA,” in *CONTART La convención de la Construcción*, 2016.
- [11] I. Y. S. Chan, H. Y. Leung, I. W. H. Fung, and M. Leung, “How can BIM support Construction Safety Management? Development of SIM,” *MATEC Web of Conferences*, vol. 66, p. 18, Jul. 2016, <https://doi.org/10.1051/mateconf/20166600018>.
- [12] Fundación Laboral de la Construcción, “Blog Metodología BIM-,” <http://blog.entornobim.org/>
- [13] J. A. Gambatese, M. Behm, and S. Rajendran, “Design’s role in construction accident causality and prevention: Perspectives from an expert panel,” *Safety Science*, vol. 46, no. 4, pp. 675–691, Apr. 2008, <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2007.06.010>.
- [14] I. Kamardeen, “8D BIM MODELLING TOOL FOR ACCIDENT PREVENTION THROUGH DESIGN,” pp. 6–8, 2010.
- [15] J. A. Gambatese, M. Behm, and J. W. Hinze, “Viability of Designing for Construction Worker Safety,” *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 131, no. 9, pp. 1029–1036, 2005, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:9\(1029\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:9(1029)).
- [16] S. Zhang, J.-K. Lee, M. Venugopal, J. Teizer, and C. Eastman, “Integrating BIM and Safety: An Automated Rule-Based Checking System for Safety Planning and Simulation,” *Proceedings of CIB W99 Conference*, pp. 1–13, 2011.
- [17] S. Zhang, K. Sulankivi, M. Kiviniemi, I. Romo, C. M. Eastman, and J. Teizer, “BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning,” *Safety Science*, vol. 72, pp. 31–45, Feb. 2015, <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2014.08.001>.
- [18] K. Sulankivi, K. Kähkönen, T. Mäkelä, and M. Kiviniemi, “4D-BIM for Construction Safety Planning,” *Occupational Health*, no. April 2009, p. 117, 2010.

- [19] A. Latorre, “Filosofía Lean en la construcción.” UNIV. POL. DE VALÈNCIA, 25-May-2015.
- [20] S. Ghosh and D. Young-Corbett, “Intersection between Lean Construction and Safety Research: A Review of the Literature,” in *Proceedings of the 2009 Industrial Engineering Research Conference*, 2009.
- [21] R. Sacks, O. Rozenfeld, and Y. Rosenfeld, “LEAN SCHEDULING FOR SAFETY: DEVELOPMENT OF A TIME-DEPENDENT RISK LEVEL MODEL,” in *IGLC 13*, 2005.
- [22] A. Enshassi and M. A. Zaiter, “Implementation of lean tools on safety in construction projects in palestine,” *22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Understanding and Improving Project Based Production, IGLC 2014*, pp. 1205–1218, 2014.
- [23] O. Salem, J. Solomon, A. Genaidy, and I. Minkarah, “Lean Construction: From Theory to Implementation,” *Journal of Management in Engineering*, vol. 22, no. 4, pp. 168–175, Oct. 2006, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(2006\)22:4\(168\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2006)22:4(168)).
- [24] I. Nahmens and L. H. Ikuma, “An Empirical Examination of the Relationship between Lean Construction and Safety in the Industrialized Housing Industry,” *Lean Construction Journal*, pp. 1–12, 2009.
- [25] P. Shrestha, E. Yfantis, and K. Shrestha, “Construction Safety Visualization,” 2011.
- [26] T. A. Saurin, C. T. Formoso, and L. I. A. B. M. Guimarães, “Safety and production : an integrated planning and control model,” 2003, <https://doi.org/10.1080/0144619032000093305>.
- [27] P. Mitropoulos, “Workers at the edge; hazard recognition and action,” in *11th International Group for Lean Construction*, 2003.